

АМРО Аладдин Мухаммед

**РАЗРЕШЕНИЕ КЛАССОВ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ
МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ В УСЛОВИЯХ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ**

Специальность 05.12.04 - радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения.

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук



Работа выполнена в Казанском государственном университете

Научный руководитель: доктор физико-математических
наук, профессор Э. А. **Ибатуллин**

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор В. А. Белавин

кандидат технических наук,
доцент Ю. Л. Комаров

Ведущая организация: Казанский научно-исследовательский
институт радиоэлектроники

Защита состоится 01.07.2003 в 14 часов на заседании диссертационного
совета Д212.081.18 при Казанском государственном университете по адресу:
Кремлевская, 18, физический факультет, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского
государственного университета.

Автореферат разослан « 30 » мая 2003 г.

Ученный секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук



Карпов А. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Увеличение количества радиоэлектронных систем (РЭС), используемых в быту и в производстве, а также переполненность радиочастотного диапазона привели к осложнению электромагнитной обстановки, что вызвало в свою очередь ухудшение разрешаемости классов сигналов, — с одной стороны, а с другой стороны желание получить высокое быстродействие мешало использованию сложных алгоритмов разрешения классов сигналов. Но в настоящее время после существенного прогресса средств программирования и электроники появилась возможность использовать более сложные алгоритмы разрешения для повышения точности при допустимом быстродействии.

Определим вначале понятие класса сигналов. Под классом сигналов будем понимать совокупность сигналов от одного источника, когда существенные параметры сигнала меняются от сигнала к сигналу случайным образом. Случайный характер изменения параметров сигнала может происходить вследствие аппаратурных нестабильностей и ошибок измерения. Например, в качестве случайных существенных параметров сигналов могут выступать время запаздывания сигнала или его несущая частота.

Класс сигналов представляет собой совокупность дискретных сигналов, в качестве которых могут использоваться простые радиоимпульсы, сигналы с **внутриимпульсной** модуляцией (ЛЧМ, ФМн, сигналы на базе составных последовательностей, сигналы на базе кодов Баркера и т. д.). Эти сигналы обычно используются в радиолокационных **системах**, в системах управления воздушным движением в аэропортах, в системах **траекторных** измерений, в системах активного запроса и ответа, в радиотехнических системах предупреждения столкновений самолетов.

В настоящее время актуальной является проблема оптимального разрешения классов **сигналов**, которое заключается в нахождении оценок параметров частных распределений, характеризующих классы, и в

распределении сигналов по их классам. Процедуре разрешения классов сигналов предшествует разрешение сигналов. Говоря иначе, до процедуры разрешения классов сигналы должны быть предварительно обработаны, т.е. усилены, сжаты, **продетектированы**, декодированы и иметь метку (label) со значением того параметра, по которому будет производиться разрешение классов. Например, если в качестве такого параметра выступает время запаздывания, то должно быть значение временного положения сигнала относительно некоторого опорного момента времени. Если же в качестве **параметра** берется несущая частота, то с помощью частотно-избирательного устройства определяется значение несущей частоты или значение отклонения от номинала несущей частоты сигнала. Эти значения представляются в цифровом виде, так как рассматриваемый алгоритм разрешения классов сигналов, предполагает цифровую обработку.

При разработке алгоритма разрешения классов сигналов с учетом выше сказанного невозможно игнорировать проблему **электромагнитной совместимости (ЭМС)**. Это крайне важно в данном исследовании, так как алгоритм имеет дело со случайными сигналами и должен корректно функционировать в условиях воздействия непреднамеренных помех.

В настоящее время в качестве критериев ЭМС часто используют энергетический критерий, при котором электромагнитное воздействие мешающего передатчика на исследуемый приемник определяется сравнением величины мощности помехи на входе (выходе) приемника с мощностью, при которой срабатывает исполнительное устройство на выходе приемника с вероятностью близкой к единице. Если величина мощности помехи равна или превышает определенную таким образом пороговую мощность, то считается, что условия ЭМС этих информационных систем (ИС) нарушены, и необходимо принимать меры по уменьшению мощности помех.

По нашему **мнению**, широко используемый энергетический критерий электромагнитной совместимости наряду с простотой не дает возможности провести количественную оценку **надежности принимаемой** информации в

условиях воздействия помех для большого класса информационных систем. Действительно, довольно часто, даже в случае превышения мощности помехи порогового значения, она может не оказывать существенного влияния на работу ИС в целом. Примером может служить воздействие импульсной помехи большой скважности на ИС, использующую импульсный сигнал.

Поэтому в данной диссертации мы предлагаем определять пороговую мощность с учетом влияния помехи на **эффективность** РЭС в целом. Это позволяет избежать те случаи, когда критерии ЭМС бывают неоправданно завышены, что является актуальным в настоящее время.

Цель и задачи исследования. Цель настоящей работы заключается в разработке алгоритма разрешения классов сигналов на основе метода максимального правдоподобия, в синтезе помеховой обстановки, создаваемой непреднамеренными помехами, а также в анализе генератора класса сигналов. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Определить понятие класса сигналов и дать его статистическое описание;
2. Определить необходимые и достаточные условия разрешения классов сигналов;
3. Синтезировать оптимальный алгоритм разрешения классов сигналов с помощью метода максимального правдоподобия;
4. Получить и решить систему уравнений максимального правдоподобия для определения средних значений в практически важном случае, когда частные плотности распределений моментов прихода сигналов подчиняются нормальному закону;
5. Синтезировать допустимую **помеховую** обстановку с учетом критерия эффективности информационной системы;
6. Разработать методику по определению пороговой мощности шумовой помехи для импульсной радиоэлектронной системы с учетом критерия эффективности этой системы;
7. Провести анализ генератора класса сигналов.

Научная новизна работы

1. Сформулирована и доказана **теорема**, определяющая необходимое и достаточное условия разрешения классов сигналов.

2. Получена система уравнений максимального правдоподобия для определения средних значений в практически важном случае, когда частные плотности распределений моментов прихода сигналов подчиняются нормальному закону. Система уравнений решена методом Ньютона. Получены численные **результаты**, которые показывают работоспособность алгоритма.

3. Разработана новая методика синтеза допустимой помеховой обстановки с учетом критерия эффективности информационной системы.

4. Для конкретной РЭС разработана методика по определению пороговой мощности для шумовой помехи.

5. Проведен анализ генератора класса импульсных сигналов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано десять печатных работ, в том числе 8 статей и 2 тезисов докладов.

Практическая ценность результатов работы

1. Оптимальный алгоритм разрешения классов сигналов, синтезированный с помощью метода максимального правдоподобия, позволяет создавать самонастраивающиеся устройства разрешения повышенной точности для информационных систем, которые к настоящему времени практически отсутствуют.

2. Синтез условий ЭМС с учетом критерия эффективности информационной системы позволяет качественно на новом уровне определять условия ЭМС информационных систем.

3. Разработка генераторов классов импульсных сигналов позволит создать соответствующие имитаторы для исследований и испытаний импульсных информационных систем.

Личный вклад. Автор принимал участие в синтезе алгоритма

разрешения классов сигналов и в синтезе методики расчета пороговой мощности шумовой помехи на выходе радиоприемного устройства **импульсной РЭС**. Непосредственно им написана программа разрешения классов сигналов на алгоритмическом языке C++, получены численные результаты и исследованы возможности алгоритма разрешения классов сигналов, Автор также принимал участие в исследовании генератора класса сигналов.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертационной работы доложены и обсуждены: на международных научных сессиях, посвященных Дню Радио, г. Москва, 1999 ÷ 2003 г.г.; на шестой российской научно-технической конференции «ЭМС-2000» г. Санкт-Петербург, на итоговых научных конференциях Казанского государственного университета 2000 ÷ 2002 г.г.

Структура и объем диссертация Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Общий объем - 139 страниц, включая библиографию из 82 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введения содержится обоснование актуальности разрабатываемой темы, изложена цель работы и задачи исследований, показана научная новизна, практическая ценность, апробация представленных к защите задач.

Первая глава диссертационной работы посвящена общему подходу к решению задач распознавания сигналов в условиях воздействия помех. Определены основные понятия проблемы разрешения классов сигналов: класс, сигнал, смесь сигналов, описана вероятностная модель сигналов, среди различных алгоритмов распознавания (разрешения) выделены следующие: метод моментов, метод минимума **хи-квадрат**, метод максимального правдоподобия.

Представлено общее состояние вопроса электромагнитной совместимости в настоящее время и имеющиеся методы анализа электромагнитной

обстановки.

Вторая глава посвящена условиям и оптимальному алгоритму разрешения классов сигналов, сформулирована и доказана теорема, определяющая необходимое и достаточное условия разрешения классов сигналов. Эти условия сводятся к тому, чтобы семейство функций распределения, из которых состоит **смесь**, было линейно независимым множеством над полем действительных чисел.

При этом для статистического описания классов сигналов использовано понятие смеси распределений

$$f_p(\vec{X}, p, \vec{\Theta}) = \sum_{i=1}^k p_i f(\vec{X} / \vec{\Theta}_i), \quad (1)$$

где k - количество классов стохастических сигналов; $f(\vec{X} / \vec{\Theta}_i)$ - частная плотность распределения вероятностей сигнала \vec{X} в i -м классе, характеризующего совокупностью параметров $\vec{\Theta}_i$; p_i - вес i -го класса в смеси.

Для разрешения классов сигналов или для нахождения оценок p_i и $\vec{\Theta}_i$, $i = \overline{1, k}$ в выражении (1), когда известны виды плотностей вероятностей исходных распределений, а также их число в смеси был использован метод максимального правдоподобия.

При этом для логарифма функции правдоподобия пачки из n независимых сигналов будем иметь

$$\ln L(\vec{X}, \vec{\Psi}) = \sum_{i=1}^n \ln \sum_{i=1}^k p_i f(\vec{X}_i / \vec{\Theta}_i), \quad (2)$$

$$\vec{\Psi} = (p_1, \dots, p_k, \vec{\Theta}_1, \dots, \vec{\Theta}_k).$$

Была получена система уравнений максимального правдоподобия для практически важного случая, когда частные плотности распределений моментов прихода сигналов подчиняются нормальному закону. При этом $\vec{\Theta}_i = \{p_i, \sigma^2\}$, $i = \overline{1, k}$, где a_i - математическое ожидание i -й плотности

распределения, σ^2 -дисперсия, одинаковая для всех частных распределений

Предполагалось, что p_i и σ^2 известны, $k=3$. Требуется определить оценки для математических ожиданий $a_i, i = \overline{1, k}$, которые пропорциональны дальностям до источников излучений. При этих условиях были получены следующие уравнения правдоподобия:

$$\sum_{l=1}^n \frac{(X_l - a_i) e^{-\frac{(X_l - a_i)^2}{2\sigma^2}}}{\sum_{j=1}^k p_j e^{-\frac{(X_l - a_j)^2}{2\sigma^2}}} = 0, i = \overline{1, k}. \quad (3)$$

Таким образом, имеем систему нелинейных уравнений $f_i = 0, i = \overline{1, k}$, для решения которой могут быть использованы только численные методы. Одним из таких методов является итерационный метод Ньютона, используя который могут быть найдены оценки для неизвестных параметров. При этом для нашего случая была получена система уравнений

$$f'_{i/a_1}(\bar{a}^{t-1})\Delta a_1^t + f'_{i/a_2}(\bar{a}^{t-1})\Delta a_2^t + f'_{i/a_3}(\bar{a}^{t-1})\Delta a_3^t = -f_i(\bar{a}^{t-1}), \quad (4)$$

$$i = \overline{1, k},$$

где t - номер шага итераций,

$$f'_{i/a_j}(\bar{a}^{t-1}) = \frac{\partial}{\partial a_j} f_i(\bar{a}^{t-1}), i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k},$$

$$\bar{a}^{t-1} = (a_1^{t-1}, \dots, a_k^{t-1}), t = 1, 2, \dots$$

В свою очередь,

$$\Delta a_j^t = a_j^t - a_j^{t-1}. \quad (5)$$

Теперь, решая совместно уравнения (4), находим приращения Δa_j^t ,

$$j = \overline{1, k}$$

$$\Delta a_1 = \frac{-f_1 - \Delta a_2 f'_{1/a_2} - \Delta a_3 f'_{1/a_3}}{f'_{1/a_1}} \quad (6)$$

$$\Delta a_2 = \frac{f_1 f'_{2/a_1} - f_2 f'_{1/a_1} + \Delta a_3 (f'_{1/a_3} f'_{2/a_1} - f'_{1/a_1} f'_{2/a_3})}{f'_{1/a_1} f'_{2/a_2} - f'_{2/a_1} f'_{1/a_2}} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta a_3 = & [f'_{3/a_1} f_1 (f'_{1/a_1} f'_{2/a_2} - f'_{2/a_1} f'_{1/a_2}) + f'_{3/a_1} f'_{1/a_2} (f_1 f'_{2/a_1} - \\ & - f_2 f'_{1/a_1}) - f'_{1/a_1} f_3 (f'_{1/a_1} f'_{2/a_2} - f'_{2/a_1} f'_{1/a_2}) - f'_{1/a_1} f'_{3/a_2} (f_1 f'_{2/a_1} - \\ & - f_2 f'_{1/a_1})] / [f'_{3/a_3} f'_{1/a_1} (f'_{1/a_1} f'_{2/a_2} - f'_{2/a_1} f'_{1/a_2}) + f'_{1/a_1} f'_{3/a_2} * \\ & * (f'_{1/a_3} f'_{2/a_1} - f'_{1/a_1} f'_{2/a_3}) - f'_{3/a_1} f'_{1/a_3} (f'_{1/a_1} f'_{2/a_2} - f'_{2/a_1} f'_{1/a_2}) - f'_{3/a_1} * \\ & * f'_{1/a_2} (f'_{1/a_3} f'_{2/a_1} - f'_{1/a_1} f'_{2/a_3})] \end{aligned} \quad (8)$$

Далее по найденным значениям приращений могут быть определены оценки для математических ожиданий на шаге t в соответствии с выражением (5). Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока не будут одновременно выполнены неравенства

$$|a_j^t - a_j^{t-1}| < \varepsilon,$$

для всех $j = \overline{1, k}$, где ε - заданная точность вычислений. Полученные оценки математических ожиданий и будут оценками максимального правдоподобия, вычисленными с точностью ε .

Для проверки алгоритма разрешения классов сигналов был проведен вычислительный эксперимент. При этом генерировались выборки с различным расположением математического ожидания классов сигналов $a_{j,l} = \overline{l, k}$ относительно друг друга. Сначала вычисления проводились, когда классы находились на достаточно большом расстоянии друг от друга, потом постепенно сближали их до пересечения. Результаты получены при

следующих исходных данных: точность вычислений $\epsilon=(0,1-001)$; веса распределений $p_1 = 0,3$, $p_2 = 0,3$, $p_3 = 0,4$; дисперсия $\sigma^2 = 0,09$; одинаковая для всех классов, размер выборки $n=15-3000$; начальные значения в пределах $(1-6) \sigma$ от истинных значений.

На рисунках 1, 2 представлен один из случаев, для которого проводились вычисления. На рисунке 1 показана гистограмма для трех классов сигналов в случае их пересечения, на рисунке 2 представлены результаты итерационного процесса, где истинные значения отображены пунктирными линиями. Из рисунка видно, что приближение получаемых оценок к разыгрываемым значениям средних при перечисленных исходных данных происходит в районе 5-й итерации.

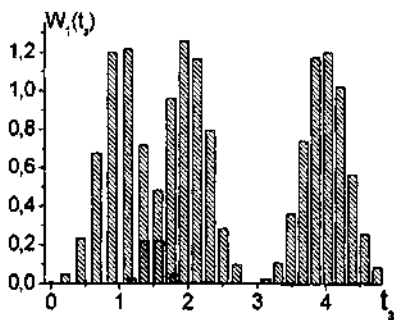


Рис.1

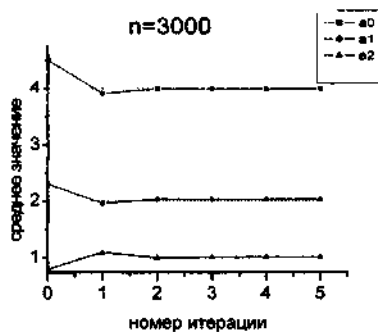


Рис.2

Эксперимент показывает, что правильность разрешения и номер итерации, на котором происходит приближение получаемых оценок к разыгрываемым значениям средних, зависит от нескольких факторов, а именно, размера выборки, степени пересечения классов, начальных значений и насколько они близки к истинным значениям. Важнейшим из этих факторов является **последний**, влияние которого становится более значительным в случае пересечения классов.

В случае, когда классы не пересекаются, разрешение происходит даже

при начальных значениях находящихся достаточно далеко от математического ожидания (на 3σ и более), а в случае пересечения классов разрешение происходит только при начальных значениях близких к математическому ожиданию (в пределах одной σ).

Третья глава посвящена рассмотрению вопросов помехоустойчивости и ЭМС информационной системы, где может быть реализован алгоритм разрешения классов сигналов, описанный во второй главе. При этом использован новый подход для синтеза допустимой помеховой обстановки с учетом критерия эффективности информационной системы, потому что мы считаем, что широко используемый для определения возможностей работы различных систем в условиях воздействия непреднамеренных помех энергетический критерий наряду с простотой не дает возможности провести количественную оценку достоверности принимаемой информации в условиях воздействия помех для большого класса ИС. В предложенном подходе устанавливаются зависимости между показателями эффективности ИС и мощностью помехи известного вида, затем, задавшись допустимым снижением эффективности при воздействии помех, определяют пороговую мощность для данной помехи.

Таким образом, если установлена зависимость вида

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}(P_{ne}, \bar{\lambda}_n, p_x, P_e, P_c, Q_n, Q_o, Q_p), \quad (9)$$

где P_{ne} — мощность помехи на выходе приемного устройства, $\bar{\lambda}_n$ — средняя частота следования для хаотически-импульсной помехи (ХИП) на входе приемного устройства, p_x — вероятность прохождения ХИП через приемное устройство, P_c, P_e — соответственно мощности сигнала и естественных шумов на выходе приемного устройства, Q_n, Q_o, Q_p — соответственно операторы приема, обработки информации и принятия решения, то для заданного значения \mathcal{E}^m из (9) находим P_{ne}^m , которое и будет являться пороговым значением мощности для данного вида помехи.

В случае использования векторного критерия эффективности для оценки ИС, когда z показателей качества зависят от воздействия помехи, имеем z выражений подобных (9)

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_1 \geq \mathcal{E}_1^m &\Rightarrow P_{ns1}^m \Rightarrow \\ \mathcal{E}_2 \geq \mathcal{E}_2^m &\Rightarrow P_{ns2}^m \Rightarrow \\ \mathcal{E}_z \geq \mathcal{E}_z^m &\Rightarrow P_{nsz}^m \Rightarrow \end{aligned} \right\} \Rightarrow \min_{j=\overline{1,z}} P_{nsj}^m \quad (10)$$

В этой ситуации из каждого выражения определяется значение мощности помехи и в качестве пороговой мощности выбирается ее минимальное значение

При воздействии помех от нескольких источников случае скалярного критерия поступаем следующим образом. Допуская снижение эффективности при воздействии помех не хуже заданной, определяем требования к мощности помехи на выходе приемного устройства для каждого вида помехи, действующего на входе ИС. Таким образом, для каждого источника помех будем иметь **свое** значение пороговой мощности помехи

$$\begin{aligned} \mathcal{E}(1) \geq \mathcal{E}^m(1) &\Rightarrow P_{ns}^m(1), \\ \mathcal{E}(2) \geq \mathcal{E}^m(2) &\Rightarrow P_{ns}^m(2), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\mathcal{E}(l) \geq \mathcal{E}^m(l) \Rightarrow P_{ns}^m(l)$$

При использовании векторного критерия для каждого из z показателей качества определяем требования к величине мощности помехи на выходе приемного устройства для каждого источника помехи. Если число источников помех равно l , то в общем случае получаем zl значений мощностей помех, из которых необходимо выбрать минимальные значения для каждого источника помехи. В результате будем иметь l пороговых мощностей

Данный подход был использован при разработке методики синтеза

электромагнитной обстановки для импульсной радиоэлектронной системы, расположенной на борту, и предназначенной для приема радиосигналов, передаваемых бинарным кодом. Исследуемый тракт состоит из антенны, циркулятора, приемника, порогового устройства (двоичный квантователь уровней), дешифратора. Принимаемый сигнал представляет из себя бинарный код с пассивным нулем, у которого синхрогруппа состоит из n позиций, а информационная группа — из m позиций, на которых могут располагаться импульсы. К выходу **приемодешифрирующего** тракта подключается устройство принятия решения, которое необходимо для накопления дешифрованных бинарных сигналов с целью увеличения достоверности принимаемой информации. Для выполнения такой функции устройство принятия решения содержит обнаружитель начала пачки и накопитель дешифрованных бинарных сигналов

В роли показателей качества векторного критерия, характеризующего эффективность такой РЭС, были приняты вероятности правильного и ложного решений, которые в соответствии с алгоритмом, заложенным в устройстве принятия решения, определяются следующими выражениями.

$$P_{np} = \sum_{j=k}^b C_b^j (1 - P_{nu})^j P_{nu}^{b-j} \sum_{i=a}^n C_n^i (1 - P_{nu})^i P_{nu}^{n-i} \quad (12)$$

$$P_{\Lambda p} \approx \sum_{j=k}^b C_b^j P_{nm}^j (1 - P_{nm})^{b-j} \sum_{i=a}^n C_n^i P_{nm}^i (1 - P_{nm})^{n-i}, \quad (13)$$

где P_{nu} — полная вероятность искажения сигнала, P_{nm} — полная вероятность ложной тревоги, k , b — соответственно нижний и верхний пороги обнаружителя начала пачки, a , n — соответственно нижний и верхний пороги накопителя.

Полагая, что функция распределения количества срабатываний

порогового устройства приемника от импульсных помех и выбросов шума подчиняется закону Пуассона будем иметь :

$$P_{nu} = 1 - \frac{1}{2^m} \sum_{l=0}^m C_m^l e^{-N\tau_{cmp}} (m-l), \quad (14)$$

$$P_{nm} = \frac{1}{2^m} \sum_{l=0}^m C_m^l \left(1 - e^{-N\tau_{cmp}}\right)^{n_1 - k_1 + l} e^{-N\tau_{cmp}} (m-l+k_1), \quad (15)$$

где N - среднее количество срабатываний порогового устройства приемника от импульсных помех и выбросов шума в единицу времени, τ_{cmp} — интервал **стробирования** дешифратора, k_1 — число нулевых позиций в синхрогруппе, l - число единичных позиций в информационной группе, n_1 - число позиций в синхрогруппе бинарного сигнала.

Выражения (14) и (15) показывают, что воздействие помех на вероятности P_{nu} и P_{nm} **сказывается** через среднее количество срабатываний порогового устройства N .

Дальнейшие преобразования выражения (14) с использованием биннома Ньютона позволили выразить в явной форме зависимость N от P_{nu} :

$$N = -\frac{1}{\tau_{cmp}} \ln(2\sqrt{1 - P_{nu}} - 1) \quad (16)$$

Преобразования выражения (15) привели его к виду:

$$(1 - e^{-N\tau_{cmp}})^{n_1} (e^{N\tau_{cmp}} - 1)^{k_1} - 2^m P_{nm} = 0 \quad (17)$$

Сама зависимость среднего количества срабатываний порогового устройства приемника от мощности (дисперсии) гауссовой шумовой помехи σ_*^2 , огибающая которой распределена по закону Рэлея, представляется в следующем **виде**:

$$N_{ш} = \sqrt{\frac{\pi}{6}} \Delta f \frac{U_{\theta}}{\sigma_*} \exp \left[-\frac{U_{\theta}^2}{2\sigma_*^2} \left(1 + \frac{\pi^2}{12} \Delta f^2 \tau_m^2 \right) \right], \quad (18)$$

Δf — полоса пропускания приемника, U_{θ} — абсолютная величина порога, τ_m —

минимальная длительность выброса шума или импульсной помехи, от которой срабатывает пороговое устройство.

При этом примем, что мощность шума на выходе приемника перед пороговым устройством σ_*^2 есть сумма мощности шумовой помехи на выходе приемника $\sigma_{шп}^2$ и мощности шумов естественного происхождения $\sigma_{ше}^2$:

$$\sigma_*^2 = \sigma_{шп}^2 + \sigma_{ше}^2. \quad (19)$$

В итоге намечаем следующую методику синтеза. По заданным значениям вероятностей $P_{пр}$ и $P_{лр}$ решаются с помощью ЭВМ методом Хичкока уравнения (12) и (13). В результате решения выделяются те из корней этих уравнений, которые имеют минимальные значения, т. е. из (12) минимальное значение полной вероятности искажений бинарного сигнала $P_{ни}$, а из (13) минимальное значение полной вероятности ложной тревоги $P_{лт}$. Далее, подставляя эти значения вероятностей соответственно в (16) и (17), из каждого выражения находятся минимальные значения N . Для дальнейшего синтеза из этих полученных двух значений выбирается меньшее. Теперь при заданном значении N , решая трансцендентное уравнение (18) можно найти мощность шума на выходе приемника перед пороговым устройством σ_*^2 при выполнении условия $N_{ш} \leq N$. Затем по выражению (19), определив предварительно $\sigma_{ше}^2$, находим пороговую мощность шумовой помехи $\sigma_{шп}^2$ на выходе приемника.

При воздействии шумовых помех от нескольких источников, результирующая мощность шумов будет равна сумме мощностей от отдельных источников. В этом случае пороговое значение мощности $\sigma_{шп}^2$, определенное по выражению (19), должно удовлетворять следующему неравенству;

$$\sigma_{шп}^2 \geq \sum_{i=1}^s \sigma_{ш_i}^2,$$

где $\sigma_{ш}^2$ - мощность шумовой помехи на выходе приемного устройства от l -ого источника.

С целью исследования описанной методики синтеза пороговой мощности шумовых помех для импульсной РЭС составлена программа на языке программирования Турбо Паскаль, проведен статистический вычислительный эксперимент. При этом получены зависимости среднего количества срабатываний порогового устройства и порогового среднеквадратического значения напряжения шума на выходе приемника от вероятности правильного решения при различных значениях нижних и верхних порогов накопителя (a/n) рис. 3, 4. Анализ результатов показывает, что при увеличении вероятности правильного решения уменьшается величина среднего количества срабатываний порогового устройства и величина порогового среднеквадратического значения напряжения шума. Уменьшение отношения (a/n) ведет, в свою очередь, к росту среднего количества срабатываний порогового устройства и порогового среднеквадратического значения напряжения шума.

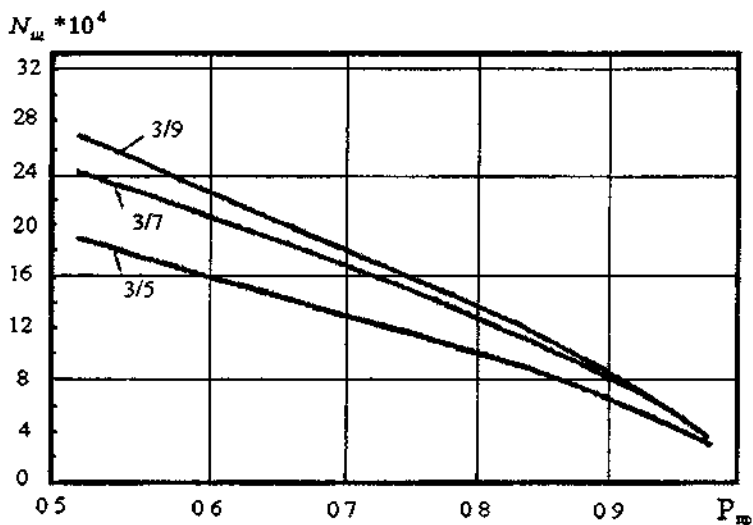


Рис 3.

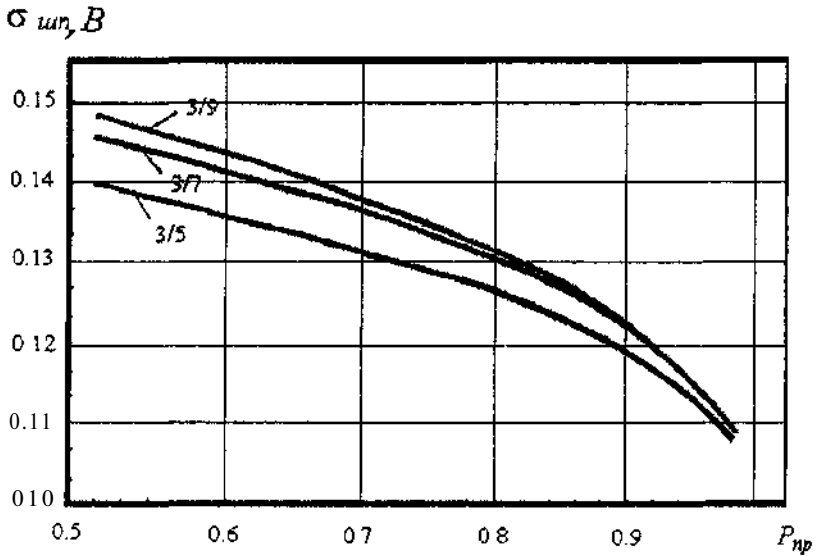


Рис.4.

Четвертая глава посвящена анализу генератора класса сигналов. Для проверки и испытаний устройств разрешения классов сигналов, необходимы генераторы, имитирующие классы сигналов. Для формирования выборки, представляющей класс сигналов, с определенным законом распределения (в частности для нашего случая с нормальным законом распределения), необходим генератор со случайным периодом следования импульсов, где возможно было бы априорно задавать нужные параметры распределения, описывающего класс сигналов.

При эвристическом синтезе устройства для формирования случайных периодов следования импульсов была поставлена цель обеспечение независимого регулирования временных параметров в формируемой случайной последовательности импульсов при априорном установлении их

значений, что в конечном счете повышает точность генератора.

Поставленная цель достигается тем, что в известное устройство для формирования случайных периодов следования импульсов, содержащее генератор тактовых импульсов, генератор шума, квантователь уровней сигналов, амплитудный селектор введены коммутатор, преобразователь амплитуда-интервал времени, элемент "И", сумматор и элемент задержки.

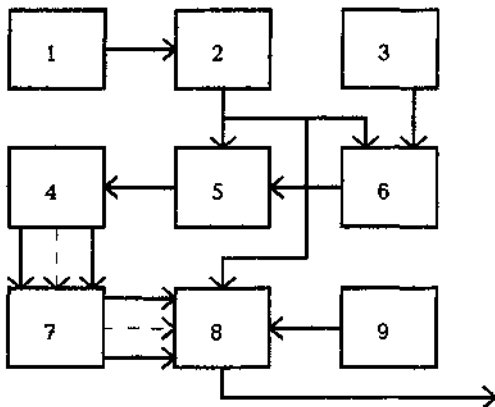


Рис. 5

На рис. 5 представлена блок-схема устройства, где: 1-генератор тактовых импульсов; 2-элемент задержки; 3-генератор шума; 4-квантователь уровней сигналов; 5-элемент "И"; 6-сумматор; 7-амплитудный селектор; 8-преобразователь амплитуда -интервал времени; 9-коммутатор.

Для дальнейшего совершенствование предлагаемого генератора с целью устранения возможной неоднозначности отсчета временного интервала при генерировании случайной последовательности импульсов вводится узел блокировки, который устраняет неоднозначность срабатывания амплитудного селектора.

Возможна несколько другая блок-схема генератора случайных временных интервалов. Она содержит генератор шума, квантователь уровней, дешифратор, блок фиксации кода, задающий генератор, регистр сдвига, генератор тактовых импульсов. Этот генератор также позволяет проводить независимую регулировку временных параметров при априорном

установлении их значений, но имеет более простую схемную реализацию.

В главе также определены вероятностные характеристики устройства формирования случайных периодов следования импульсов. При этом получено выражение для плотности вероятности напряжения на выходе амплитудного селектора. Эта плотность вероятности представляет из себя сумму дельта-функций по всем уровням с соответствующими коэффициентами. Используя это выражение, получены формулы для плотности вероятности разности случайных значений напряжений амплитудного селектора в соседние периоды следования импульсов задающего генератора и для плотности вероятности периодов следования импульсов на выходе исследуемого устройства.

$$W_1(T) = \frac{h_u}{T_3} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N S_i S_j \delta \left(u_i - u_j - \frac{T - T_0}{T_3} h_u \right), \quad (20)$$

где h_u - шаг квантования, T_0 - период импульсов задающего генератора, T_3 - период тактового генератора, S_i, S_j - вероятности попадания напряжения шума соответственно в i -й и j -й интервалы квантования уровней, u_i, u_j - соответственно i -й и j -й уровни квантования, $\delta(*)$ - дельта функция. И, наконец, получены формулы для математического ожидания $M[T]$ и дисперсии периода следования импульсов $D[T]$:

$$M[T] = \int_{-\infty}^{\infty} T W_1(T) dT = \frac{h_u}{T_3} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N S_i S_j \int_{-\infty}^{\infty} T \delta \left(u_i - u_j - \frac{T - T_0}{T_3} h_u \right) dT = T_0, \quad (21)$$

$$D[T] = \int_{-\infty}^{\infty} T^2 W(T) dT - T_0^2 = \frac{h_u}{T_3} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N S_i S_j \int_{-\infty}^{\infty} T^2 \delta(u_i - u_j -$$

$$- \frac{T - T_0}{T_3} h_u) dT - T_0^2 = \frac{T_3^2}{h_u^2} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N S_i S_j (u_i - u_j)^2. \quad (22)$$

Выражение (21) показывает, что математическое ожидание периода равно периоду задающего генератора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена проблеме разрешения классов сигналов, а также синтезу помеховой обстановки, создаваемой непреднамеренными помехами и электромагнитной **совместимости**.

Решение этих проблем имеет значение для создания самонастраивающихся устройств разрешения повышенной точности, способных работать в пределах одного объема разрешения, синтеза условий ЭМС с учетом критерия эффективности информационной системы, создания оригинальных устройств генерации классов сигналов.

Основные результаты выполненной диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Для конечных смесей введено определение понятия разрешения, получены необходимые и достаточные условия их разрешения. Эти условия сводятся к тому, чтобы семейство функций распределения, из которых состоит смесь, было линейно независимым множеством над полем действительных чисел.

2. Получена и решена численным методом система уравнений правдоподобия для практически важного случая, когда частные плотности распределений моментов прихода сигналов подчиняются нормальному закону. По полученному алгоритму составлена программа на языке C++ и проведены численные расчеты, которые показывают, что приближение полученных оценок к разыгрываемым значениям средних происходит в (2-ой-7-

ой) итерациях.

3. Разработана новая методика синтеза допустимой помеховой обстановки с учетом критерия эффективности информационной системы. При этом устанавливаются зависимости **между** показателями эффективности ИС и мощностью помехи известного вида, затем, задавшись допустимым снижением эффективности при воздействии помех, определяют пороговую мощность для данной помехи.

4. Методика использована для синтеза пороговой мощности шумовой помехи на выходе радиоприемного устройства импульсной радиоэлектронной системы, расположенной на подвижном объекте и, предназначенной для приема радиосигналов, передаваемых бинарным кодом.

5. Получены зависимости среднего количества срабатываний порогового устройства приемника и порогового **среднеквадратического** значения напряжения шума от вероятности правильного решения.

6. Исследованы вероятностные характеристики устройства формирования случайных периодов следования импульсов. При этом получены формулы для определения одномерной плотности вероятности, математического ожидания и дисперсии периодов следования импульсов на выходе устройства.

Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях

1. Ибатуллин Э. А., Фирсаков Б. Г., Амро А. М. Разрешение классов сигналов на основе метода максимального правдоподобия // Тез. докл. 54-ой науч. сессии, **посв.** Дню Радио. - М., 1999.- С.212.

2. Ибатуллин Э. А., Амро А. М. Оптимальный алгоритм разрешения классов сигналов (помех) // Сб. док. 6-ой Российской научно-технической конференции «ЭМС-2000». - Санкт-Петербург, 2000.-С.218-222.

3. Ибатуллин Э. А., Амро А. М. Необходимое и достаточное условия разрешения классов **сигналов**// Тез. докл. 55-ой науч. сессии, **посв.** Дню Радио.- М., 2000.-С.251-252.

4 Ибатуллин Э А , Амро А М **Синтез** допустимой **помеховой** обстановки с учетом критерия эффективности информационной системы // Тр 56-ой науч сессии, **посв** Дню Радио - М ,2001 Том 1 -С 129-131

5 Ибатуллин Э А , Амро А М Условия и оптимальный алгоритм разрешения классов сигналов - Прием и обраб **инф** в сложных информационных **системах**// Изд-во КГУ, 2001 Вып 20 -С 10-19

6 Ибатуллин Э А , Хуснутдинова Р Х , Амро А М Синтез пороговой мощности шумовой помехи для импульсной радиоэлектронной системы // Докл 57-ой науч сессии, **посв** Дню Радио - М , 2002 Том 2 -С 104-106

7 Ибатуллин Э А , Хуснутдинова Р Х , Амро А М Методика синтеза пороговой мощности шумовой помехи для импульсной радиоэлектронной системы - Прием и обраб **инф** в сложных информационных **системах**// Изд-во КГУ, 2003 Вып 21-С 39-51

8 Ибатуллин Э А , Хуснутдинова Р Х , Амро А М Синтез пороговой **мощности** шумовой помехи для импульсной радиоэлектронной системы Прием и обраб **инф** в сложных информационных **системах**// Изд-во КГУ, 2003 Вып 21 -С 52-61

9 Ибатуллин Э А , Амро А М , Хуснутдинова Р Х Генератор класса импульсных сигналов Прием и обраб **инф** в сложных информационных **системах**// Изд-во КГУ, 2003 Вып 21 -С 62-71

10 Ибатуллин Э А , Амро А М Моделирование алгоритма разрешения классов сигналов // Докл 58-ой науч сессии, **посв** Дню Радио - М , 2003 Том 1 -С 44-46